



Penerapan *Project-Based Learning* Berbasis Arduino pada Mata Kuliah Fisika Instrumentasi untuk Meningkatkan Keterampilan Instrumentasi dan Motivasi Belajar Mahasiswa Pendidikan Fisika

Muhammad Taufik*, Hikmawati

Program Studi Pendidikan Fisika, PMIPA FKIP Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram
Lombok NTB, 83125

Email Korespondensi: taufik@unram.ac.id

Abstrak

Pembelajaran Fisika Instrumentasi menuntut mahasiswa tidak hanya memahami konsep sensor dan sistem pengukuran, tetapi juga mampu mengembangkan alat instrumentasi serta mengomunikasikan hasil kerjanya secara ilmiah. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis proyek pembuatan alat ukur fisika menggunakan Arduino pada mata kuliah Fisika Instrumentasi serta menganalisis dampaknya terhadap pemahaman konsep, keterampilan instrumentasi, dan motivasi belajar mahasiswa. Penelitian menggunakan desain one-group pretest–posttest dengan subjek tujuh mahasiswa Pendidikan Fisika. Pembelajaran dilaksanakan selama satu semester melalui tahapan orientasi konsep, perencanaan proyek, pelaksanaan proyek, presentasi, dan publikasi video. Data dikumpulkan menggunakan tes pemahaman konsep instrumentasi, rubrik penilaian proyek, dan angket motivasi belajar, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, N-gain, dan persentase ketuntasan belajar. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pemahaman konsep dari kategori sedang menuju tinggi dengan N-gain kategori sedang, peningkatan keterampilan instrumentasi pada kategori baik hingga sangat baik, serta motivasi belajar mahasiswa pada kategori sangat tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi PjBL, Arduino, dan YouTube tidak hanya memperkuat keterampilan instrumentasi, tetapi juga memberikan implikasi praktis bagi pengembangan komunikasi ilmiah mahasiswa calon guru fisika.

Kata kunci: project-based learning, fisika instrumentasi, Arduino uno, keterampilan instrumentasi, motivasi belajar

Implementation of Arduino-Based Project-Based Learning in Physics Instrumentation Course to Improve Instrumentation Skills and Learning Motivation of Physics Education Students

Abstract

Instrumentation Physics instruction requires students not only to understand the concepts of sensors and measurement systems but also to design instrumentation devices and communicate their work in a scientific manner. This study aims to describe the implementation of Project-Based Learning (PjBL) through a project on developing physics measuring instruments using Arduino in the Instrumentation Physics course and to analyze its effects on students' conceptual understanding, instrumentation skills, and learning motivation.. The study employed a one-group pretest–posttest design involving seven Physics Education students as participants. Instruction was conducted over one semester through the stages of concept orientation, project planning, project implementation, presentation, and video publication. Data were collected using an instrumentation concept-understanding test, a project assessment rubric, and a learning motivation questionnaire, and subsequently analyzed using descriptive statistics, N-gain, and the percentage of mastery learning. The results indicate an improvement in conceptual understanding from the medium to the high category, with an N-gain in the medium range, enhanced instrumentation skills in the good to very good categories, and student learning motivation in the very high category. These findings suggest that the integration of PjBL, Arduino, and YouTube not only strengthens instrumentation skills but also has practical implications for the development of scientific communication competencies among prospective physics teachers.

Keywords: *project-based learning, instrumentation physics, Arduino Uno, instrumentation skills, learning motivation.*

How to Cite: Muhammad Taufik, & Hikmawati. (2025). Penerapan Project-Based Learning Berbasis Arduino pada Mata Kuliah Fisika Instrumentasi untuk Meningkatkan Keterampilan Instrumentasi dan Motivasi Belajar Mahasiswa Pendidikan Fisika. *Empiricism Journal*, 6(4), 2160-2168. <https://doi.org/10.36312/dmz11v84>



<https://doi.org/10.36312/dmz11v84>

Copyright© 2025, Taufik & Hikmawati

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pengukuran dan instrumentasi menuntut lulusan pendidikan fisika memiliki kompetensi yang tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga praktis dan aplikatif. Mata kuliah Fisika Instrumentasi berperan penting dalam membekali mahasiswa dengan kemampuan memahami prinsip kerja sensor, sistem akuisisi data, serta analisis hasil pengukuran (Doucette et al., 2020; Vidal et al., 2022). Namun, pembelajaran instrumentasi yang masih berorientasi pada demonstrasi prosedural berpotensi membatasi keterlibatan aktif mahasiswa dan pengembangan keterampilan autentik.

Project-Based Learning (PjBL) merupakan pendekatan pembelajaran yang menempatkan mahasiswa sebagai pusat pembelajaran melalui keterlibatan langsung dalam penyelesaian proyek berbasis permasalahan nyata. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa PjBL efektif dalam meningkatkan keterampilan praktikum, kreativitas, dan motivasi belajar mahasiswa pada pendidikan sains dan teknik (Dwikoranto et al., 2020; Hidayat et al., 2024; Wang et al., 2025). Dalam konteks pembelajaran instrumentasi, PjBL memungkinkan mahasiswa mengintegrasikan konsep fisika dengan aktivitas perancangan dan pengujian alat secara langsung.

Pemanfaatan mikrokontroler seperti Arduino dalam pembelajaran fisika dan teknik semakin luas karena bersifat fleksibel, berbiaya relatif rendah, dan mendukung integrasi berbagai sensor (Organtini & Tufino, 2022; Schnider & Hömöstreit, 2023). Sejumlah studi melaporkan bahwa penggunaan Arduino dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan analisis data, dan minat belajar mahasiswa (Moya & Merino, 2022; Herendi & Jenei, 2025).

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada efektivitas PjBL atau penggunaan Arduino secara terpisah, serta menempatkan proyek sebagai produk akhir pembelajaran. Belum banyak penelitian yang secara eksplisit menelaah integrasi PjBL berbasis Arduino dengan aktivitas komunikasi ilmiah mahasiswa melalui presentasi kelas dan publikasi proyek di YouTube pada mata kuliah Fisika Instrumentasi (Papadimitropoulos et al., 2021; Prabowo et al., 2024). Padahal, komunikasi ilmiah dan literasi digital merupakan kompetensi penting bagi mahasiswa calon guru fisika.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

- (1) mendeskripsikan implementasi Project-Based Learning berbasis Arduino pada mata kuliah Fisika Instrumentasi;
- (2) menganalisis peningkatan pemahaman konsep dan keterampilan instrumentasi mahasiswa; serta
- (3) mengkaji motivasi belajar mahasiswa terhadap publikasi proyek instrumentasi melalui YouTube.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain kuasi eksperimen tipe one-group pretest–posttest, yang umum digunakan dalam penelitian pendidikan fisika untuk mengevaluasi dampak intervensi pembelajaran (Wang et al., 2025). Subjek penelitian adalah tujuh mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika yang mengikuti mata kuliah Fisika Instrumentasi. Jumlah subjek yang terbatas disebabkan oleh karakteristik kelas dan kebijakan akademik program studi, sehingga penelitian ini bersifat eksploratif dan kontekstual (Mutanga, 2024).

Pembelajaran dilaksanakan selama satu semester dengan menerapkan tahapan Project-Based Learning, yaitu orientasi konsep instrumentasi, perencanaan proyek, pelaksanaan proyek, presentasi hasil, dan publikasi video proyek melalui YouTube (Dwikoranto et al., 2020; Papadimitropoulos et al., 2021). Mahasiswa mengembangkan alat ukur jarak dan suhu berbasis Arduino sebagai produk proyek pembelajaran.

Instrumen penelitian meliputi tes pemahaman konsep instrumentasi, rubrik penilaian proyek instrumentasi, dan angket motivasi belajar mahasiswa. Rubrik dan angket dikembangkan dengan mengadaptasi instrumen yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya dan divalidasi melalui expert judgment oleh dosen bidang fisika instrumentasi

dan pendidikan fisika (Prasetya et al., 2020; Rosidin et al., 2022). Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif, perhitungan N-gain, serta analisis ketuntasan belajar berdasarkan Pedoman Penilaian Universitas Mataram (UNRAM)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Pemahaman Konsep Instrumentasi

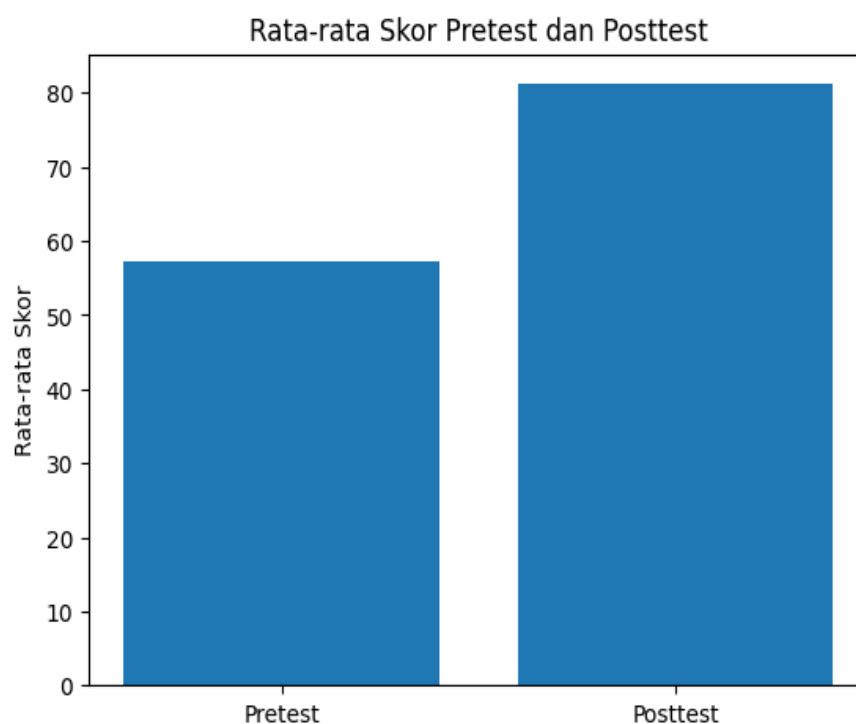
Hasil analisis data menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep instrumentasi mahasiswa setelah penerapan *Project-Based Learning* berbasis Arduino. Statistik deskriptif skor pretest dan posttest disajikan pada Tabel 1, analisis N-gain pada tabel 2, gambar 1 menyajikan rata-rata Skor Pretest dan Posttest, gambar 2 menunjukkan Perubahan Skor Pretest–Posttest.

Tabel 1. Skor Pretest dan Posttest

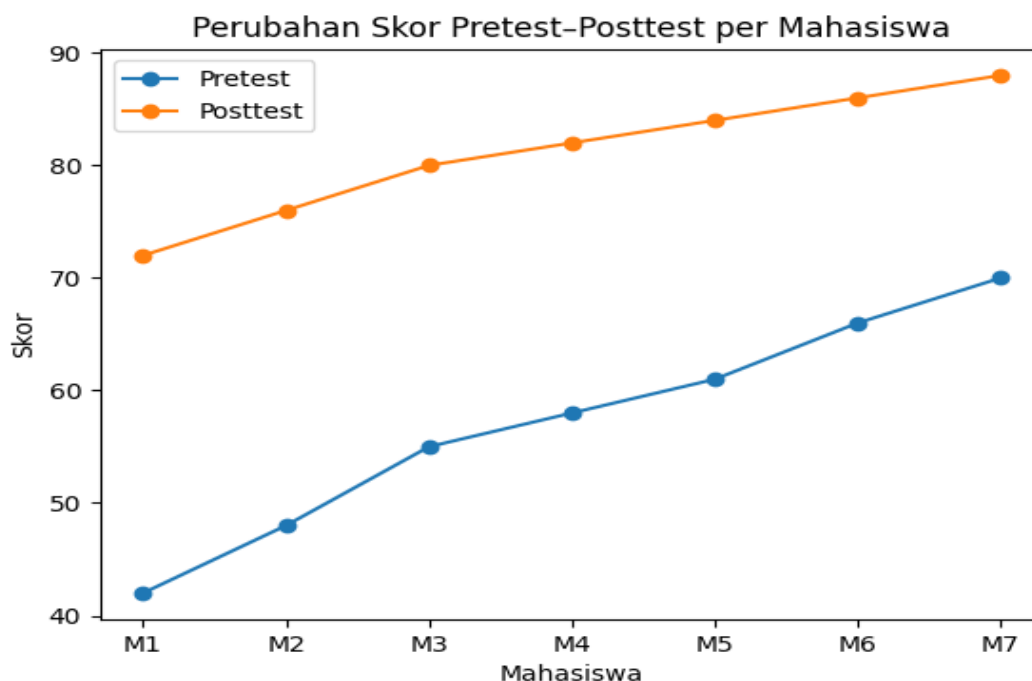
Statistik	Pretest	Posttest
Skor minimum	42	72
Skor maksimum	70	88
Rata-rata	57,1	81,1
Standar deviasi	9,7	5,5

Tabel 2. Analisis N-gain per Mahasiswa

Mahasiswa	Pretest	Posttest	N-gain	Kategori
M1	42	72	0,52	Sedang
M2	48	76	0,54	Sedang
M3	55	80	0,56	Sedang
M4	58	82	0,57	Sedang
M5	61	84	0,59	Sedang
M6	66	86	0,59	Sedang
M7	70	88	0,60	Sedang



Gambar 1. Grafik Rata-rata Skor Pretest dan Posttest



Gambar 2. Grafik Perubahan Skor Pretest–Posttest per Mahasiswa

Dari tabel 1 dapat dilihat, skor rata-rata meningkat dari 57,1 pada pretest menjadi 81,1 pada posttest, nilai N-gain disajikan pada tabel 2 dengan rata-rata sebesar 0,57 yang berada pada kategori sedang. Secara visual perubahan pre test dan post test dapat disaksikan pada gambar 1 dan 2. Temuan ini menunjukkan bahwa PjBL memberikan peningkatan pemahaman konsep yang bermakna, sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya pada pendidikan fisika dan teknik (Dwikoranto et al., 2020; Wang et al., 2025).

Ketuntasan Belajar Mahasiswa

Analisis ketuntasan belajar berdasarkan Pedoman Penilaian Universitas Mataram menunjukkan adanya peningkatan persentase ketuntasan dari 71,4% pada tahap pretest menjadi 100% pada tahap posttest (Tabel 3). Peningkatan ini mengindikasikan bahwa penerapan Project-Based Learning berbasis Arduino mampu membantu seluruh mahasiswa mencapai standar kompetensi minimal yang ditetapkan universitas, sekaligus memperlihatkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek dalam memfasilitasi pemahaman konsep dan keterampilan instrumentasi secara lebih merata di antara mahasiswa.

Tabel 3. Ketuntasan Belajar Mahasiswa Kriteria tuntas: nilai ≥ 55 (nilai C)

Tahap	Tuntas	Tidak Tuntas
Pretest	5 mahasiswa (71,4%)	2 mahasiswa (28,6%)
Posttest	7 mahasiswa (100%)	0 mahasiswa (0%)

Hasil ini mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu membantu mahasiswa mencapai standar kompetensi minimal yang ditetapkan institusi, karena mahasiswa terlibat secara aktif dalam proses perancangan, pelaksanaan, dan evaluasi proyek pembelajaran yang autentik. Temuan ini sejalan dengan laporan penelitian PjBL sebelumnya yang menunjukkan bahwa keterlibatan mahasiswa dalam aktivitas berbasis proyek berkontribusi terhadap peningkatan capaian belajar dan ketuntasan akademik pada pendidikan tinggi (Hidayat et al., 2024).

Keterampilan Instrumentasi Mahasiswa

Hasil penilaian proyek menunjukkan bahwa keterampilan mahasiswa pada aspek perancangan, kreativitas, dan presentasi berada pada kategori sangat baik, sedangkan aspek fungsi dan akurasi alat berada pada kategori baik (Tabel 4). Temuan ini menunjukkan

bahwa mahasiswa mampu mengembangkan ide, merancang sistem instrumentasi, serta mengomunikasikan hasil proyek secara efektif, meskipun masih diperlukan penguatan pada tahap pengujian, kalibrasi, dan analisis kesalahan pengukuran untuk meningkatkan kualitas fungsi dan akurasi alat yang dikembangkan.

Tabel 4. Skor Rata-rata Keterampilan Instrumentasi Mahasiswa

Aspek Penilaian	Rata-rata	Kategori
Perancangan dan dokumentasi alat	3,29	Sangat Baik
Fungsi dan stabilitas alat	3,00	Baik
Akurasi pengukuran	2,71	Baik
Kreativitas dan kerapian	3,43	Sangat Baik
Presentasi dan video proyek	3,57	Sangat Baik

Tantangan pada aspek akurasi pengukuran sejalan dengan temuan Vidal et al. (2022) serta Schnider dan Hömöstrei (2023) yang menyatakan bahwa kinerja sistem instrumentasi berbasis Arduino sangat dipengaruhi oleh ketepatan prosedur kalibrasi, pemilihan sensor, serta pengendalian variabel lingkungan selama proses pengukuran. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun platform Arduino relatif mudah diimplementasikan dalam pembelajaran, penguasaan aspek metodologis pengukuran tetap menjadi faktor kunci dalam menghasilkan data yang akurat.

Motivasi Belajar dan Peran YouTube

Respon dan motivasi belajar mahasiswa terhadap penerapan Project-Based Learning (PjBL) berbasis Arduino dengan integrasi YouTube dianalisis menggunakan angket skala Likert. Angket ini digunakan untuk mengidentifikasi persepsi mahasiswa terkait ketertarikan terhadap pembelajaran instrumentasi, kebermaknaan proses pembelajaran, kontribusi proyek Arduino terhadap pemahaman konsep, serta peran publikasi proyek melalui YouTube dalam memotivasi belajar. Rekapitulasi skor rata-rata dan interpretasi motivasi belajar mahasiswa disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Skor Motivasi Belajar Mahasiswa

Indikator	Rata-rata	Interpretasi
Ketertarikan terhadap pembelajaran instrumentasi	3,43	Sangat Tinggi
Pembelajaran dirasakan lebih bermakna	3,57	Sangat Tinggi
Proyek Arduino membantu pemahaman konsep	3,43	Sangat Tinggi
Publikasi proyek melalui YouTube memotivasi belajar	3,71	Sangat Tinggi

Hasil angket pada tabel 5 dapat dilihat bahwa mahasiswa memberikan respon sangat positif terhadap pembelajaran berbasis proyek dan publikasi proyek melalui YouTube (Tabel 5). Respon positif tersebut menunjukkan bahwa integrasi aktivitas perancangan alat dan publikasi digital tidak hanya meningkatkan motivasi belajar, tetapi juga mendorong mahasiswa untuk lebih aktif terlibat dalam proses pembelajaran, refleksi hasil kerja, dan komunikasi ilmiah secara sederhana.

Integrasi YouTube sebagai media publikasi proyek dinilai mampu meningkatkan motivasi, rasa tanggung jawab, dan kepercayaan diri mahasiswa dalam menyelesaikan serta mempresentasikan hasil kerja mereka, karena mahasiswa tidak hanya berorientasi pada penilaian dosen tetapi juga pada audiens yang lebih luas. Kondisi ini mendorong mahasiswa untuk menyusun laporan, visualisasi, dan penjelasan hasil proyek secara lebih sistematis dan komunikatif. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Papadimitropoulos et al. (2021) dan Prabowo et al. (2024) yang menegaskan bahwa pemanfaatan media digital dalam pembelajaran dapat memperkuat keterampilan komunikasi ilmiah, keterlibatan belajar, serta literasi digital mahasiswa.

Diskusi Kritis dan Keterbatasan

Hasil penelitian ini mendukung temuan sebelumnya mengenai efektivitas Project-Based Learning (PjBL) dan penggunaan Arduino dalam pembelajaran instrumentasi fisika, sebagaimana tercermin dari peningkatan pemahaman konsep, keterampilan instrumentasi, dan motivasi belajar mahasiswa yang dirangkum pada Tabel 6. Rekapitulasi tersebut

menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memungkinkan mahasiswa terlibat secara aktif dalam keseluruhan tahapan pembelajaran, mulai dari perencanaan, perancangan, pengujian, hingga presentasi alat ukur fisika yang dikembangkan. Keterlibatan aktif ini mendorong mahasiswa untuk mengintegrasikan pengetahuan konseptual dengan keterampilan praktis serta melatih kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah secara kontekstual. Dengan demikian, pembelajaran tidak hanya berorientasi pada pencapaian hasil akhir proyek, tetapi juga menekankan pentingnya proses berpikir ilmiah, refleksi, dan pengambilan keputusan yang bermakna selama proses pembelajaran berlangsung.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisis Penerapan PjBL Berbasis Arduino

Aspek yang Dianalisis	Hasil Utama	Kategori
Pemahaman konsep instrumentasi	N-gain = 0,57	Sedang
Ketuntasan belajar	100% pada posttest	Tuntas
Keterampilan instrumentasi	3,00–3,57	Baik–Sangat Baik
Motivasi belajar mahasiswa	3,43–3,71	Sangat Tinggi

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan menempatkan YouTube sebagai bagian integral dari proses pembelajaran, bukan sekadar media dokumentasi hasil proyek. Dalam konteks ini, YouTube berperan sebagai sarana komunikasi ilmiah yang mendorong mahasiswa untuk merencanakan, menyajikan, dan merefleksikan hasil kerja mereka secara lebih sistematis dan komunikatif. Namun demikian, keterbatasan jumlah subjek dan durasi penelitian yang terbatas pada satu semester perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil penelitian ini, sebagaimana disarankan oleh Mutanga (2024) dan Beltrán et al. (2025). Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan jumlah subjek yang lebih besar, desain komparatif, serta variasi konteks pembelajaran disarankan untuk memperkuat validitas temuan dan memperluas pemahaman mengenai peran media digital dalam pembelajaran berbasis proyek pada pendidikan fisika.

KESIMPULAN

Penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis Arduino dengan integrasi YouTube pada mata kuliah Fisika Instrumentasi terbukti memberikan dampak positif terhadap pemahaman konsep, keterampilan instrumentasi, dan motivasi belajar mahasiswa pendidikan fisika. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep instrumentasi dari kategori sedang menuju tinggi dengan nilai N-gain kategori sedang, yang mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu meningkatkan penguasaan konsep secara bermakna dalam konteks pembelajaran satu semester. Selain itu, seluruh mahasiswa mencapai ketuntasan belajar berdasarkan Pedoman Penilaian Universitas Mataram (UNRAM), yang menunjukkan bahwa PjBL berbasis Arduino efektif membantu mahasiswa memenuhi standar kompetensi minimal mata kuliah.

Dari sisi keterampilan instrumentasi, mahasiswa menunjukkan kemampuan yang baik hingga sangat baik dalam merancang, mengimplementasikan, dan mempresentasikan alat ukur fisika berbasis Arduino. Meskipun demikian, aspek akurasi pengukuran masih menjadi tantangan bagi sebagian mahasiswa, yang mengindikasikan perlunya penguatan pada tahap kalibrasi dan analisis kesalahan pengukuran dalam pembelajaran instrumentasi. Temuan ini menegaskan bahwa PjBL tidak hanya berfungsi sebagai sarana peningkatan keterampilan teknis, tetapi juga sebagai wahana pembelajaran reflektif yang memungkinkan mahasiswa mengenali keterbatasan dan potensi pengembangan diri.

Integrasi YouTube sebagai media publikasi proyek memberikan kontribusi tambahan yang signifikan dalam pembelajaran. Publikasi video proyek mendorong mahasiswa untuk menyusun laporan dan presentasi secara lebih sistematis, meningkatkan rasa tanggung jawab terhadap kualitas hasil kerja, serta melatih kemampuan komunikasi ilmiah dan literasi digital. Dengan demikian, integrasi YouTube memperluas peran PjBL dari sekadar pengembangan keterampilan instrumentasi menuju penguatan kompetensi abad ke-21 yang relevan bagi mahasiswa calon guru fisika.

Meskipun penelitian ini memberikan temuan yang positif, keterbatasan jumlah subjek dan cakupan penelitian yang terbatas pada satu kelas perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan jumlah peserta yang lebih besar, desain komparatif, serta variasi jenis proyek instrumentasi guna memperkuat generalisasi temuan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa pembelajaran Fisika Instrumentasi di pendidikan tinggi dapat dirancang secara lebih autentik, kontekstual, dan bermakna melalui integrasi *Project-Based Learning*, teknologi mikrokontroler, dan media digital sebagai bagian integral dari proses pembelajaran.

REKOMENDASI

Adopsi PjBL berbasis Arduino dan integrasi publikasi video sebagai format tugas utama di mata kuliah Fisika Instrumentasi, karena pada konteks kelas yang diteliti pendekatan ini berkorelasi dengan peningkatan pemahaman konsep, keterampilan instrumentasi, dan motivasi belajar. Catatan kritisnya: kata “terbukti” di simpulan sebaiknya dibaca sebagai “terlihat pada konteks penelitian ini”, mengingat desainnya one-group dan sampelnya kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Beltrán, N., Fernández, A., Blanco, D., Martín-Ramos, J., & Zapico, P. (2025). Enhancing project-based learning: A handoff-structured model for balanced roles. *International Journal of Mechanical Engineering Education*. <https://doi.org/10.1177/03064190251383880>
- Doucette, D., D'Urso, B., & Singh, C. (2020). Lessons from transforming second-year honors physics lab. *American Journal of Physics*, 88(10), 838–844. <https://doi.org/10.1119/10.0001641>
- Dwikoranto, D., Munasir, M., Setiani, R., Suyitno, S., Surasmi, W., & Tresnaningsih, S. (2020). Effectiveness of project-based laboratory learning to increase students' science process skills and creativity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1491(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1491/1/012006>
- Fitriani, R., Suwono, H., Ibrohim, I., & Lukiat, B. (2025). Enhancing preservice teachers' collaborative problem solving through STEM project-based learning. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 14(3), 227–238. <https://doi.org/10.11591/ijere.v14i3.27725>
- Haryudo, S., Anifah, L., & Achmad, F. (2022). Project-based learning in the relationship of motivation and critical thinking to the competence of electrical engineering students. *Journal of Engineering Education Transformations*, 36(2), 178–184. <https://doi.org/10.16920/jeet/2022/v36i2/22165>
- Herendi, B., & Jenei, P. (2025). Interactive physics education with Arduino: Determining altitude and flow rate by measuring air pressure. *Physics Education*, 60(5), 055032. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/adb933>
- Hidayat, H., Anwar, M., Harmanto, D., Dewi, F., Orji, C., & Isa, M. (2024). Two decades of project-based learning in engineering education: A 21-year meta-analysis. *TEM Journal*, 13(4), 3525–3535. <https://doi.org/10.18421/TEM134-84>
- Jaewijarn, C., & Wuttirom, S. (2021). A new manometer with Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 1719(1), 012092. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1719/1/012092>
- Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(12), e0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>
- Moya, A., & Merino, A. (2022). Building a digital barometer with Arduino to study forces due to atmospheric pressure and weather maps at schools. *Physics Education*, 57(4), 045018. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac5c6e>

- Mutanga, M. (2024). Students' perspectives and experiences in project-based learning: A qualitative study. *Trends in Higher Education*, 3(4), 903–911. <https://doi.org/10.3390/higheredu3040052>
- Nagamalla, L., Geedipally, V., Bandu, U., & Suryadevara, G. (2024). Impact of project-based learning (PjBL) on creativity, communication, and adaptability among engineering students: A journey from classroom to community for sustainable solutions. *Journal of Engineering Education Transformations*, 38(S11), 7–15. <https://doi.org/10.16920/jeet/2024/v38is1/24205>
- Oban, A., Akat, E., & Erdoğan, A. (2022). Two different experiments with the rope-attached sphere by using Arduino. *Physics Education*, 58(1), 015022. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aca19d>
- Oban, A., & Erol, M. (2025). Impact of Arduino-based STEM education on cognitive domain level of mechanics and scientific creativity. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 12(4), 1–16. <https://doi.org/10.31129/lumat.12.4.2231>
- Organtini, G., & Tufino, E. (2022). Effectiveness of a laboratory course with Arduino and smartphones. *Education Sciences*, 12(12), 898. <https://doi.org/10.3390/educsci12120898>
- Papadimitropoulos, N., Dalacosta, K., & Pavlatou, E. (2021). Teaching chemistry with Arduino experiments in a mixed virtual-physical learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550–566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>
- Prabowo, N., Paristiowati, M., & Irwanto, I. (2024). Arduino-based real-time data acquisition systems: Boosting STEM career interest. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 13(4), 231–236. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i4.27001>
- Prasadana, R., Sari, A., Budimansyah, A., Youlanda, A., Hariyono, E., Hidaayatullaah, H., & Suprpto, N. (2024). Physics-informed Arduino Uno-based water channel height monitoring: Sensor STEAMscape and effective mitigation of flood hazards. *Journal of Physics: Conference Series*, 2900(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2900/1/012035>
- Prasetya, A., Cahyono, E., & Haryani, S. (2020). Measurement of critical thinking skills in project-based chemical analysis instrumentation experiments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 022046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022046>
- Prasetya, A., Cahyono, E., & Haryani, S. (2020). Preparation of authentic assessment instruments on instrumental analysis practice project-based to improve graduate competence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4), 042034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042034>
- Rahmat, A., Kuswanto, H., Wilujeng, I., & Daud, A. (2024). Local culture integration in physics experiments: Exploring angklung with Arduino-enhanced frequency measurement. *TEM Journal*, 13(2), 848–855. <https://doi.org/10.18421/TEM132-38>
- Rosidin, U., Sesunan, F., & Fitria, D. (2022). Development of assessment instruments to measure collaboration and responsibility skills of students in physics learning on case method-based. *Amplitudo Journal of Science Technology Innovation*, 1(2), 29–35. <https://doi.org/10.56566/amplitudo.v1i2.7>
- Schnider, D., & Hämstrei, M. (2023). Electrical conductance lab: A low-cost, simple and useful project with Arduino. *Physics Education*, 58(6), 065023. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acf817>
- Tselegkaridis, S., & Sapounidis, T. (2024). Exploring students' hands-on performance, attitudes, and usability with Arduino modular boards. *Information*, 15(2), 88. <https://doi.org/10.3390/info15020088>

- Vidal, J., Montenegro, D., & Rodas, C. (2022). Teaching physical sciences using Arduino physics lab at the Universidad del Cauca. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 17(3), 223–229. <https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3191266>
- Viyanti, V., Shintya, R., Rosidin, U., Suyatna, A., & Farawahidah, N. (2025). Analysis of project-based problem-solving skills of optical equipment materials with Heller and Heller steps. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 14(2). <https://doi.org/10.15294/jpii.v14i2.23810>
- Wang, C., Song, L., & Jiang, J. (2025). The impact of project-based learning on university physics education: Enhancing cognitive skills and core competencies. *Frontiers in Psychology*, 16, 1495105. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1495105>
- Yusri, R., Yusof, A., & Sharina, A. (2024). A systematic literature review of project-based learning: Research trends, methods, elements, and frameworks. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 13(5), 33–45. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i5.27875>